

Schmertosch, Thomas, Dr.-Ing.

# **Drastische Verkürzung der Reaktionszeiten bis zu 1 $\mu$ s im modularen Maschinenbau und dezentralen Automatisierungsstrukturen**

## **1 Einleitung**

In zahlreichen Branchen gibt es extrem zeitkritische Prozesse, deren exakte Bearbeitung entscheidend für die Produktqualität und die Produktionsgeschwindigkeit ist. Folgende Anwendungen verdeutlichen das beispielhaft.

Applikation: Druckmarkenerkennung

In einer Verpackungsmaschine müssen schnell laufende Markierungen auf dem Packmittel – zum Beispiel Druck- und Produktidentifikationsmarken – erkannt und vermessen werden. Auf die ermittelten Positionen wird der nachfolgende Verpackungsprozesses synchronisiert. Soll dieser schneller und präziser erfolgen, ist die Vermessung mit einer Auflösung im  $\mu$ s-Bereich erforderlich. In der Folge wird die Produktivität erhöht und Fehlpackungen werden vermieden.

Applikation: Registerregelung

Im mehrfarbigen Druckprozess hängt das Ergebnis entscheidend davon ab, wie synchron die unterschiedlichen Druckwerke zueinander arbeiten. Um diesen Prozess zu beherrschen, werden in jeder Farbe Registermarken mit gedruckt und anschließend vermessen. Das Messergebnis ist dann ein Parameter für die Lageregelung der nachfolgenden Druckzylinder. Durch hochgenaue Messung- und Regelung wird der Verbrauch an Druckfarben und -papier durch Vermeidung von Makulatur reduziert. Bisher ist dafür teure Spezialhardware erforderlich.

Applikation: Spritzgießen

Extrem schnelle Signalverarbeitung und  $\mu$ s-Genauigkeit in der Regelung sind in der Kunststoff verarbeitenden Industrie essentiell. So hat die Präzision der Umschaltung von Geschwindigkeitsregelung auf Druckregelung im Einspritzprozess von Spritzgießmaschinen einen direkten Einfluss auf die Produktqualität und die Effizienz der Rohstoffverwertung (minimale Trockenlaufzeit).

Für die Erfüllung dieser Anforderungen ist schnellste Signalerfassung und –verarbeitung erforderlich. Speziell im modularen Maschinenbau wird aber die Reaktionszeit einer Automatisierungsanlage durch die dynamischen Ressourcen von Steuerung, Feldbus und Infrastruktur ausgebremst. Es wird gezeigt, welche Einflussfaktoren sich wie auswirken und mit welchen Konzepten die Reaktionszeit beeinflusst werden kann. Anschließend wird eine Lösung vorgestellt, mit der die genannten Abhängigkeiten eliminiert und dadurch Reaktionszeiten im einstelligen  $\mu\text{s}$ -Bereich ermöglicht werden.

## 2 Reaktionszeit - Definition und technischer Stand

Vereinfacht dargestellt wird in der Automatisierungstechnik unter der Reaktionszeit die Zeitspanne verstanden, die ein System benötigt, um auf ein Prozessereignis zu reagieren. Wird also an einem Signaleingang eine Zustandsänderung erfasst, so wird eine bestimmte Zeit vergehen, bis an einem Signalausgang eine im Programm berechnete Zustandsänderung erfolgen kann. Diese Reaktionszeit ist aber von vielen Faktoren abhängig und wird durch die Technologie vorgegeben. Typische Prozessanforderungen zeigt Abbildung 1.



Abbildung 1: Typische Reaktionszeiten im Maschinen- und Anlagenbau

In Abbildung 2 wird dargestellt, von welchen Faktoren die Reaktionszeit in einer einfachen dezentralen Steuerungsarchitektur abhängig ist.

Ein Ereignis tritt ein, auf das reagiert werden muss. Dazu muss die Zustandsinformation den Weg durch die Elektronik des Feldgerätes sowie des Eingangsmoduls und anschließend den Feld-Bus zur Steuerungs-CPU nehmen. Nach der Bearbeitung geht es zurück über Feldbus und die Elektronik des Ausgangsmoduls zum Aktor.

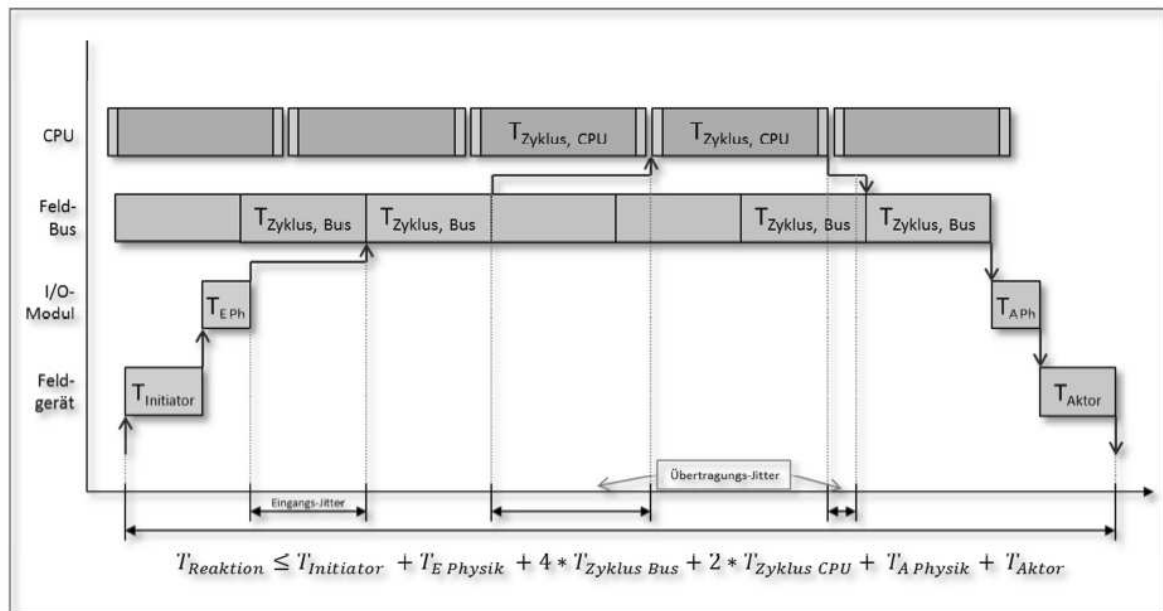


Abbildung 2: Reaktionszeit im asynchronen, dezentralen System

Es wird deutlich, dass in dezentralen Systemen, abgesehen von den unvermeidbaren Schwankungen infolge des Eingangsjitters, die Reaktionszeit ganz wesentlich durch die Zykluszeit der CPU und dem zweifachen Wert eines Feldbuszyklus bestimmt wird. Wie in Abbildung 2 ersichtlich, schwankt dieser Wert um einen weiteren CPU- und zwei Feldbuszyklen, je nachdem, zu welchem Zeitpunkt der Feldbus die Signale abholt.

Geht man davon aus, dass ein typischer CPU-Zyklus in einer Maschinensteuerung 10ms und ein Feldbuszyklus je nach verwendeter Technologie 1ms benötigt, wird die Problematik sofort offensichtlich. Eine Reaktionszeit unter 10ms ist auch im besten Fall nicht ohne Zusatzaufwand zu erreichen.

Zur Lösung dieser Problematik sind verschiedene Ansätze bekannt und etabliert.

### 3 Lösungsansätze - Prinzipien, Vor- und Nachteile

Das Konzept einer Systemsynchronisation, wie in Abbildung 3 dargestellt, stellt oft die einfachste Möglichkeit dar. Mit diesem Ansatz wird der Übertragungsjitter eliminiert, was jedoch nur eine stabilisierte Reaktionszeit zur Folge hat.

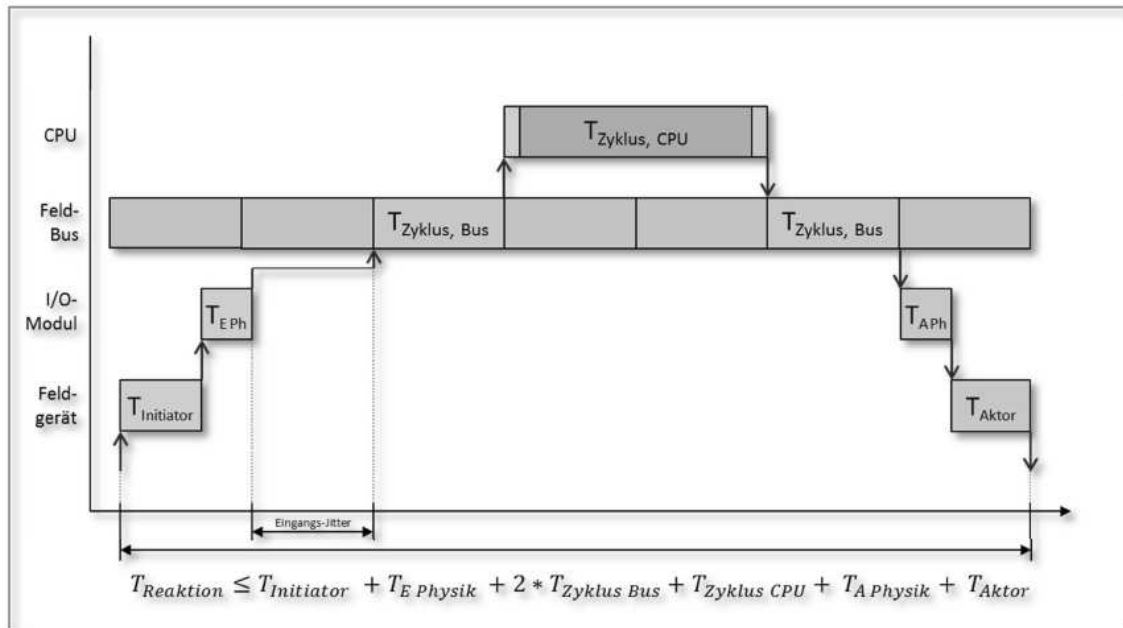


Abbildung 3: Reaktionszeit im synchronen, dezentralen System

Beispielhaft werden in einem B&R-Steuerungskonzept dazu die Zyklen der CPU-Taskklassen und aller Peripheriesysteme, wie z.B. Buscontroller und Servoverstärker, auf den Feldbuszyklus mit einer Genauigkeit von wenigen Nanosekunden synchronisiert. Damit lassen sich Reaktionszeiten von 600µs realisieren. Nur der Eingangsjitter bewirkt noch eine Schwankung um einen Feldbuszyklus.

Um mit diesem Prinzip auch eine Reaktionszeit im µs-Bereich zu erreichen, ist ein zunächst plausibler Ansatz die zusätzliche Erhöhung der Systemleistung in allen beteiligten Komponenten (Abbildung 4). Aktuell sind mit diesem Konzept Reaktionszeiten unter 100µs erreichbar.

Erkauft wird das mit erheblichen Investitionen in die Rechen- und Übertragungstechnik, was die Kosteneinsparung infolge eingesparter Spezialhardware wieder relativiert. Außerdem sind dieser Architektur Grenzen hinsichtlich der Menge der Signale gesetzt. Vorteilhaft ist, dass alle Programme vom Anwender in eigener Regie erstellt und gewartet werden können.

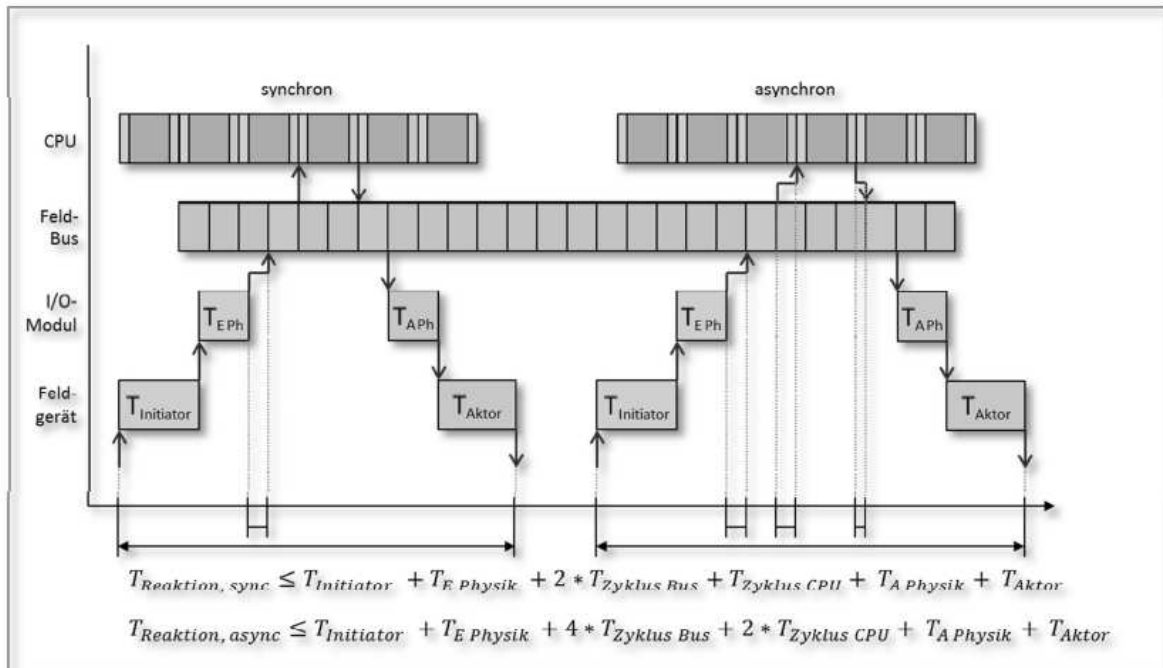


Abbildung 4: Reaktionszeit im dezentralen System mit hoher Leistung

Das gilt auch für den Interrupt-basierten Ansatz (Abbildung 5). Mit dieser Technologie lassen sich ähnliche Reaktionszeiten wie zuvor beschrieben auch bei geringeren Kosten erreichen. Allerdings wird neben dem Busprotokoll auch das übrige Anwenderprogramm mehr oder weniger häufig unterbrochen. Das bewirkt unkalkulierbare Effekte für die Regelgüte und Genauigkeit des gesamten Systems. Damit die Applikation beherrschbar bleibt, sind der Menge und der Häufigkeit der Unterbrechungen enge Grenzen gesetzt.

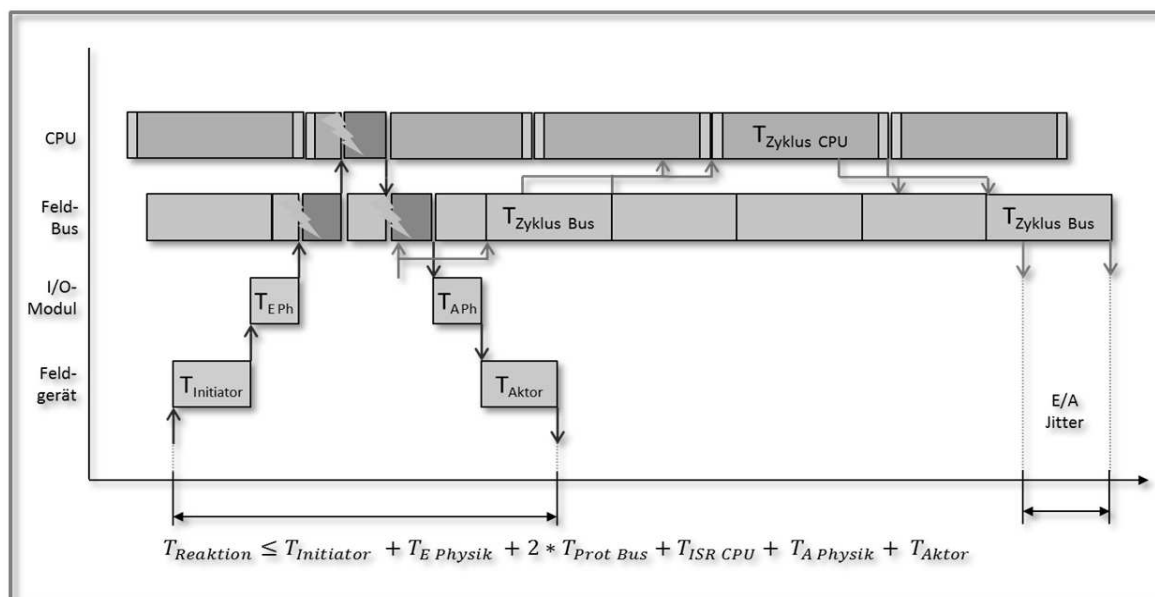
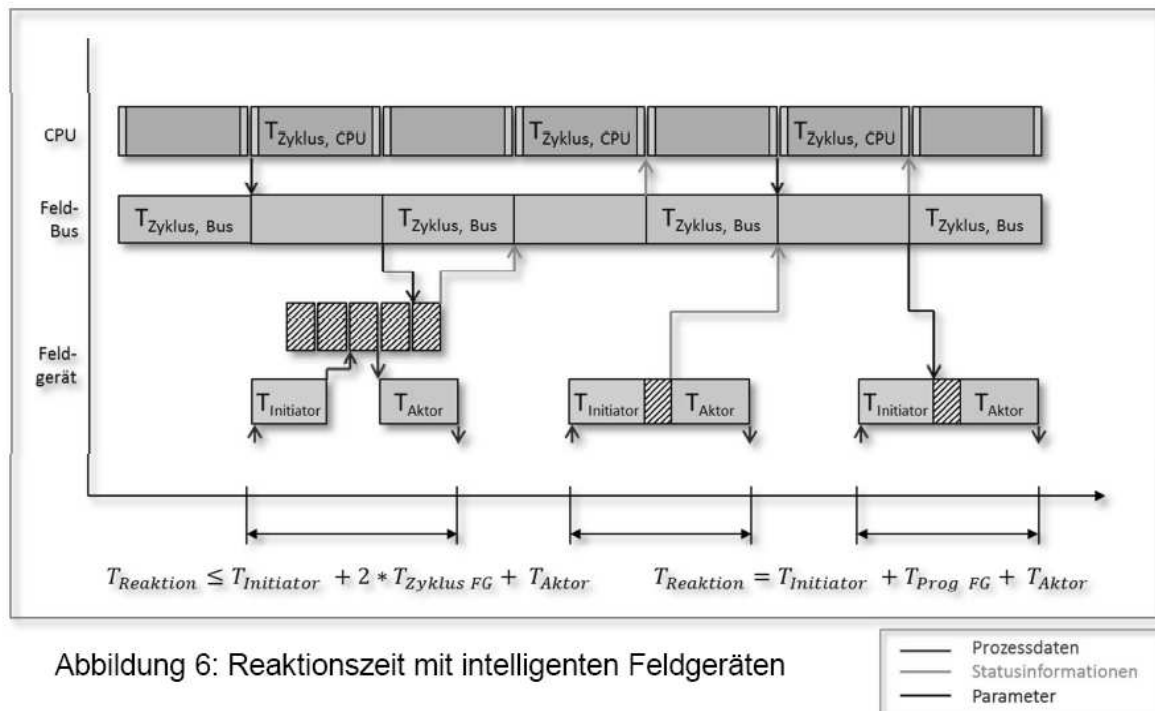


Abbildung 5: Reaktionszeit im dezentralen System mit Interrupt

Überraschungen bei der Inbetriebnahme sind so vorprogrammiert und erhöhen den Engineeringaufwand mitunter beträchtlich.

Ein weiterer Lösungsansatz sind intelligente Feldgeräte bzw. Spezialhardware. (Abbildung 6) Durch speziell angepasste Technik können damit Reaktionszeiten auch unter  $1\mu\text{s}$  erreicht werden.



Gezielt für die jeweilige Funktion ausgewählte Elektronikkomponenten und extrem optimierte Programme haben jedoch ihren Preis und der Anwender hat nur eingeschränkte, bis keine Möglichkeiten der Anpassung des jeweiligen Programms. Das ist aber gerade für innovative Maschinenkonzepte oft unabdingbar. Wenn mittels Parametrierung die benötigte Funktionalität nicht erreicht werden kann, müssen Änderungen beim Hersteller erfolgen. Lange Lieferzeiten und hohe Kosten sind die Folge.

Und noch einen Aspekt gilt es zu berücksichtigen. Um die Kosten für Spezialhardware in Grenzen zu halten, implementieren die Hersteller alle denkbaren Funktionen, wie z.B. Filter, Prozeduren und Algorithmen, die dann mit einer oft unüberschaubaren Parameterwolke auf den jeweiligen Anwendungsfall hin konfiguriert werden müssen. Das setzt mitunter extremes Fachwissen voraus und erhöht den Engineeringaufwand noch zusätzlich. Außerdem erhöhen die zahlreichen konfigurationsabhängigen Programmverzweigungen wieder die Bearbeitungszeit, was ja gerade vermieden werden soll.

Schlussfolgernd wird deutlich, dass bei Anforderungen im einstelligen Mikrosekundenbereich bisher nur Spezialhardware bzw. intelligente Feldgeräte zielführend sind.

## 4 *reACTION*-Technologie

Um die Abhängigkeiten des Steuerungssystems zu eliminieren und dadurch Reaktionszeiten von bis zu 1µs zu ermöglichen, verfolgt B&R den Ansatz der intelligenten I/O-Module. Dazu wurde der bereits vorhandene FPGA einiger Standard-I/O-Module ertüchtigt, auch Steuerungsprogramme abzuarbeiten. Optimierte Ein- und Ausgangsphysik sorgt für extrem schnelle Signalerfassung und -ausgabe, so dass gemeinsam mit entsprechend ausgewählten Standard-Feldgeräten tatsächlich mit bis zu 1µs reagiert werden kann. Konkret läuft die Signalverarbeitung mit *reACTION*-Technologie wie folgt ab. (Abbildung 7).

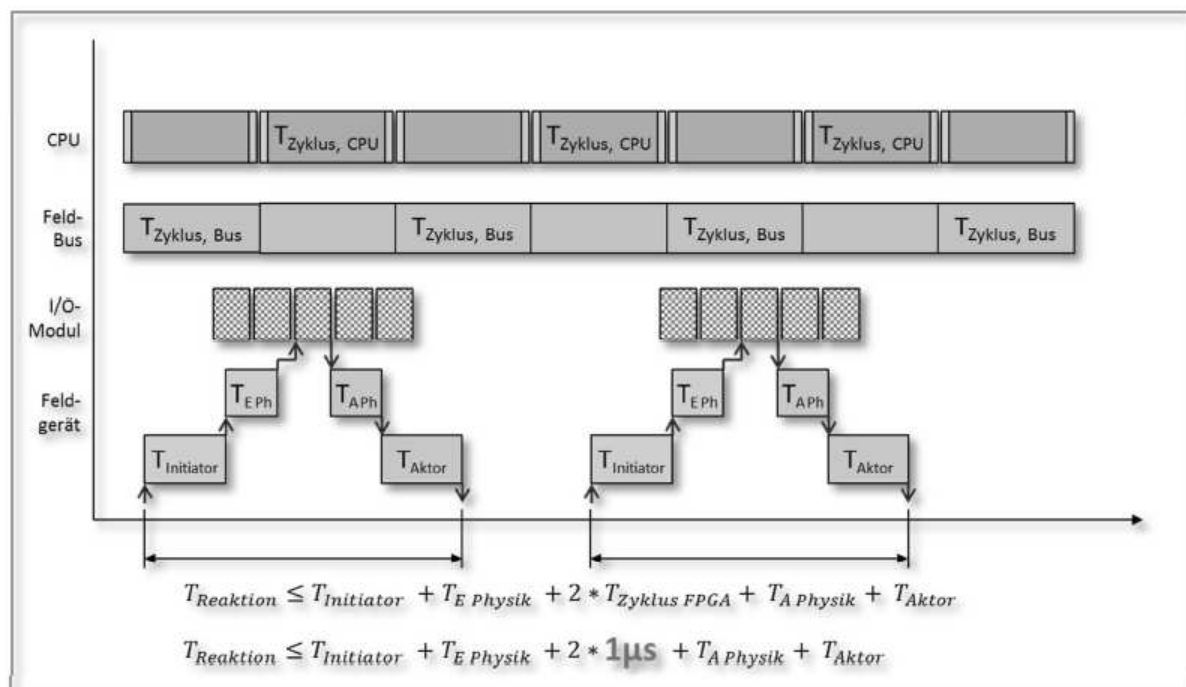


Abbildung 7: *reACTION*-Technologie im dezentralen System

Der Eingangstreiber eines I/O-Moduls tastet ein Eingangssignal mit einer Auflösung von 20 ns ab und wandelt es in ein Logiksignal um. Anschließend verarbeitet ein im I/O-Modul integriertes FPGA das Signal mit Zykluszeiten unter 1µs. Das resultierende Ergebnis wird an den Ausgangstreiber des I/O-Moduls übermittelt und als physikalisches Signal ausgegeben. Das FPGA übernimmt somit direkte Funktionen der zentralen Steuerung, die somit entlastet wird. So kann die CPU grundsätzlich auch kleiner dimensioniert werden und es können mit einer CPU, die im Millisekundenbereich arbeitet, trotzdem Reaktionszeiten im Mikrosekundenbereich erreicht werden.

Hinsichtlich Flexibilität und Programmierung zeigt sich die *reACTION*-Technologie besonders anwenderfreundlich. Die Softwarefunktionen werden wie bei jeder anderen Funktion direkt in

der B&R-Engineering-Software *Automation Studio* vom Anwender selbst und ganz speziell für die jeweilige technologische Funktion in Form von Funktionsblöcken nach IEC61131 erstellt (Abbildung 8)

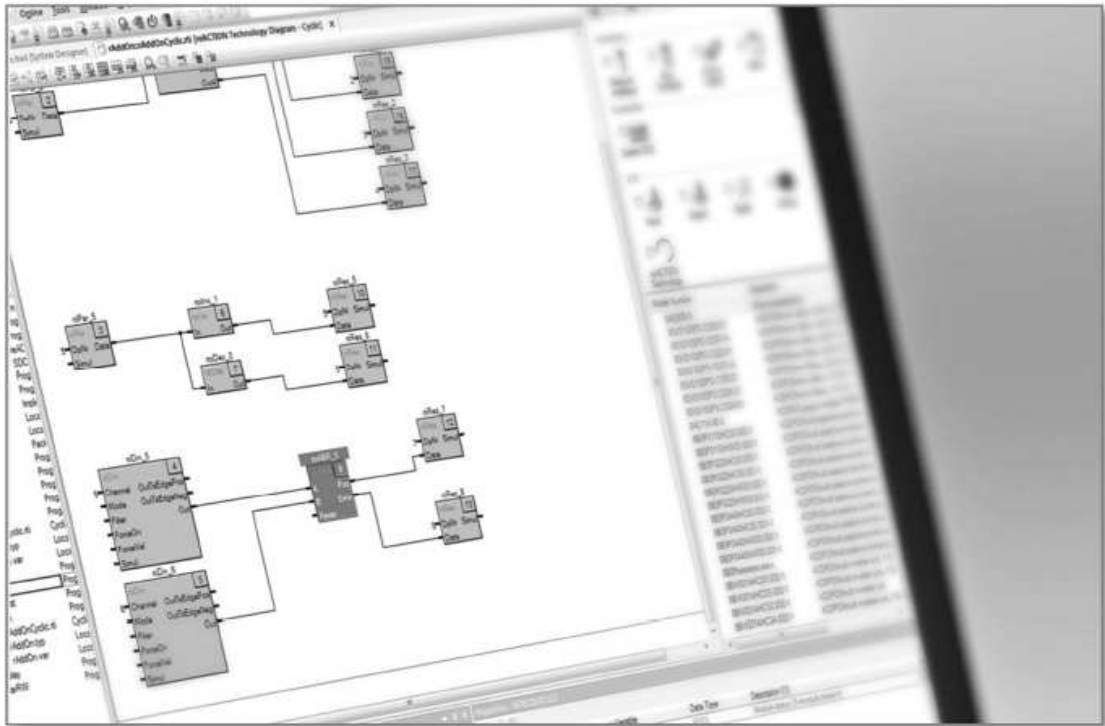


Abbildung 8: *reACTION*-Technologie, Programmierung mit FBD nach IEC61131 /B&R/

An logischen Operationen sind AND, OR, XOR oder NOT möglich. Für komplexere Aufgaben wie z.B. anspruchsvolle Regler, stehen auch arithmetische Operationen wie ADD, SUB, MUL, DIV sowie FlipFlop, PWM, Komparator und Zähler zur Verfügung.

Die per Funktionsblock erstellten Verschaltungen lassen sich wie klassischer Steuerungscode durch Ausführung der Module auf der Steuerung testen. Funktioniert alles einwandfrei, wird die Softwarefunktion auf die ausführende Hardwarekomponente allein durch Anpassung der Hardwarekonfiguration im *Automation Studio* zugewiesen. Einen Mausklick später ist die Funktion auf dem FPGA des jeweiligen I/O-Moduls programmiert und aktiv.

Durch die Möglichkeit, diese Programme auch während der Laufzeit der Maschine nachzuladen, setzt *reACTION* auch in puncto Wandelbarkeit und Nachhaltigkeit Maßstäbe. (Abbildung 9) Bei einem Produkt-, Material- bzw. Technologiewechsel kann entweder vollautomatisch oder mit einfachen Bedienhandlungen des Maschinenbedieners eine Um-



rüstung erfolgen. Eine Eigenschaft, die mit Spezialhardware vollkommen unmöglich ist. Selbst für ganz neue Funktionen ist nur ein Softwareupdate erforderlich.

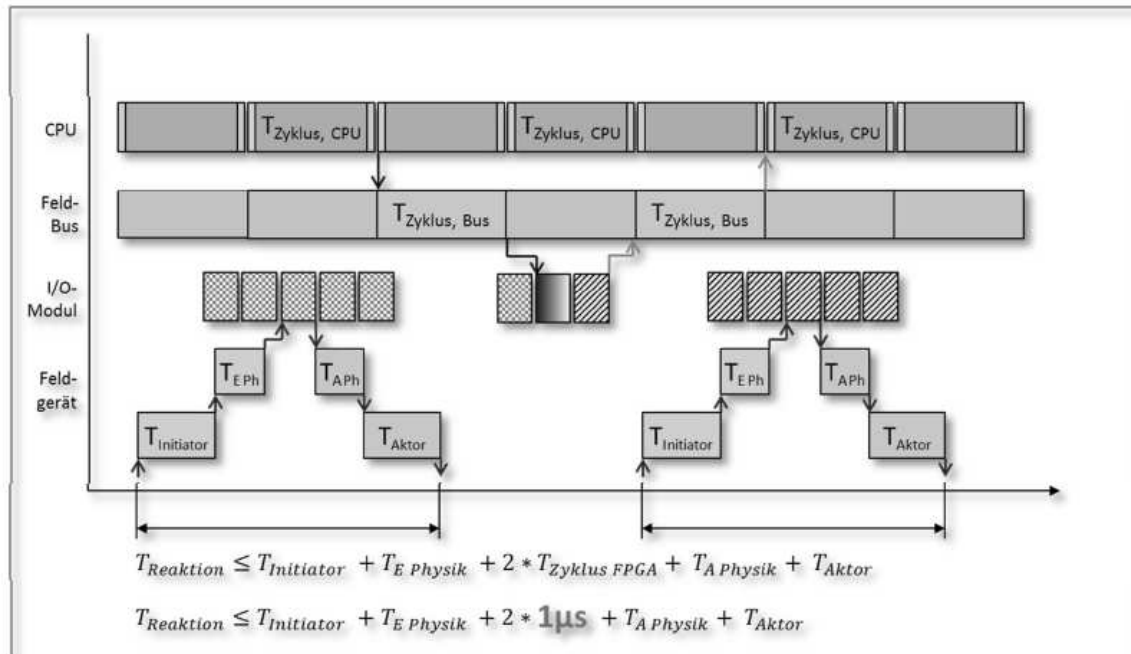


Abbildung 9: *reACTION*-Technologie mit Programmwechsel

Daraus ergibt sich auch der Vorteil, dass *reACTION*-Programme nicht durch aufwändige Parametrierung variiert werden müssen. Von Beginn an können technologische Funktionen ganz gezielt entwickelt und so auch in ihrem Ressourcenbedarf optimiert werden. Parameter sind nur noch erforderlich um Funktionen zu justieren und nicht um sie auszuwählen.

Parallel zur Highspeed-Programm-Bearbeitung im I/O-Modul ist auch ein direkter Zugriff der Zentralsteuerung auf dessen Ein- und Ausgänge möglich. (Abbildung 10)

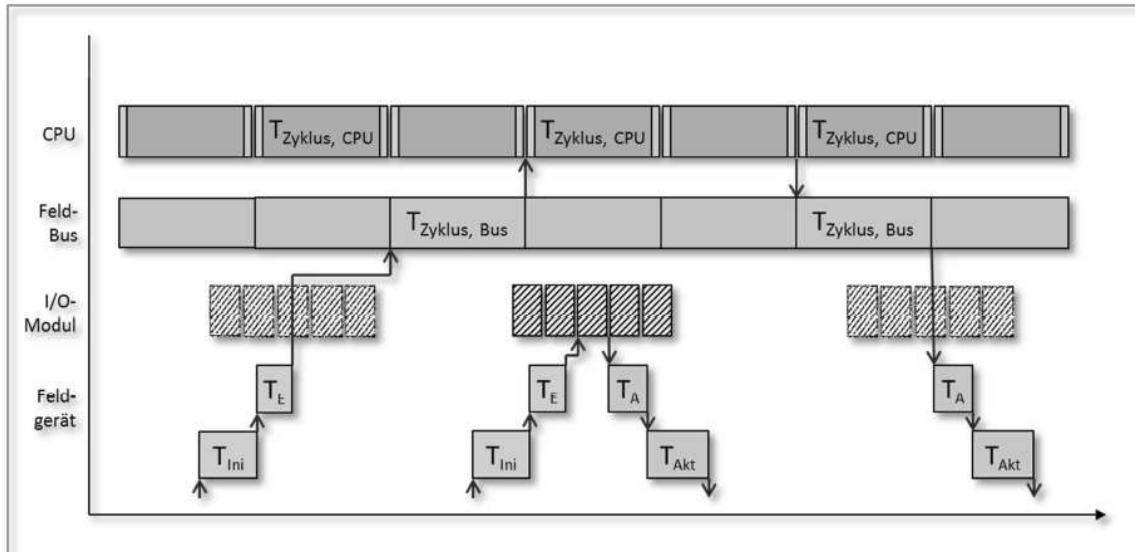


Abbildung 10: *reACTION*-Technologie, I/O-Durchgriff

Damit lassen sich Prozessinformationen auch für andere Funktionen nutzen. Die erforderliche Variablen-Verknüpfung erfolgt per Drag-and-Drop-Zuweisung in der Entwicklungsumgebung *Automation Studio*.

Hinsichtlich der Topologie sind der Verwendung von *reACTION*-Technologie keine Grenzen gesetzt. Es können in einem Automatisierungssystem beliebig viele dieser Module ohne Rücksicht auf die Struktur eingesetzt werden. Das gilt auch für die Nutzung in einem zentralen System. (Abbildung 11)

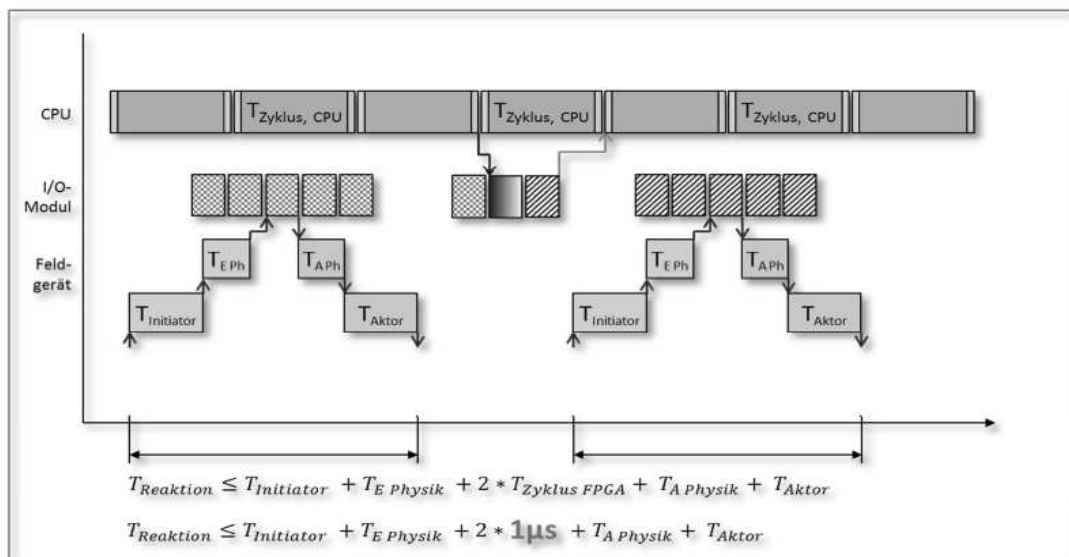


Abbildung 11: *reACTION*-Technologie im zentralen System

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass die Reaktionszeit der *reACTION*-Technologie unabhängig von ihrer Platzierung immer gleich ist. Das ist gerade bei wandelbaren, modularen Maschinen und Anlagen entscheidend für Engineeringaufwand und -qualität. Abbildung 12 zeigt beispielhaft eine mögliche Konfiguration.

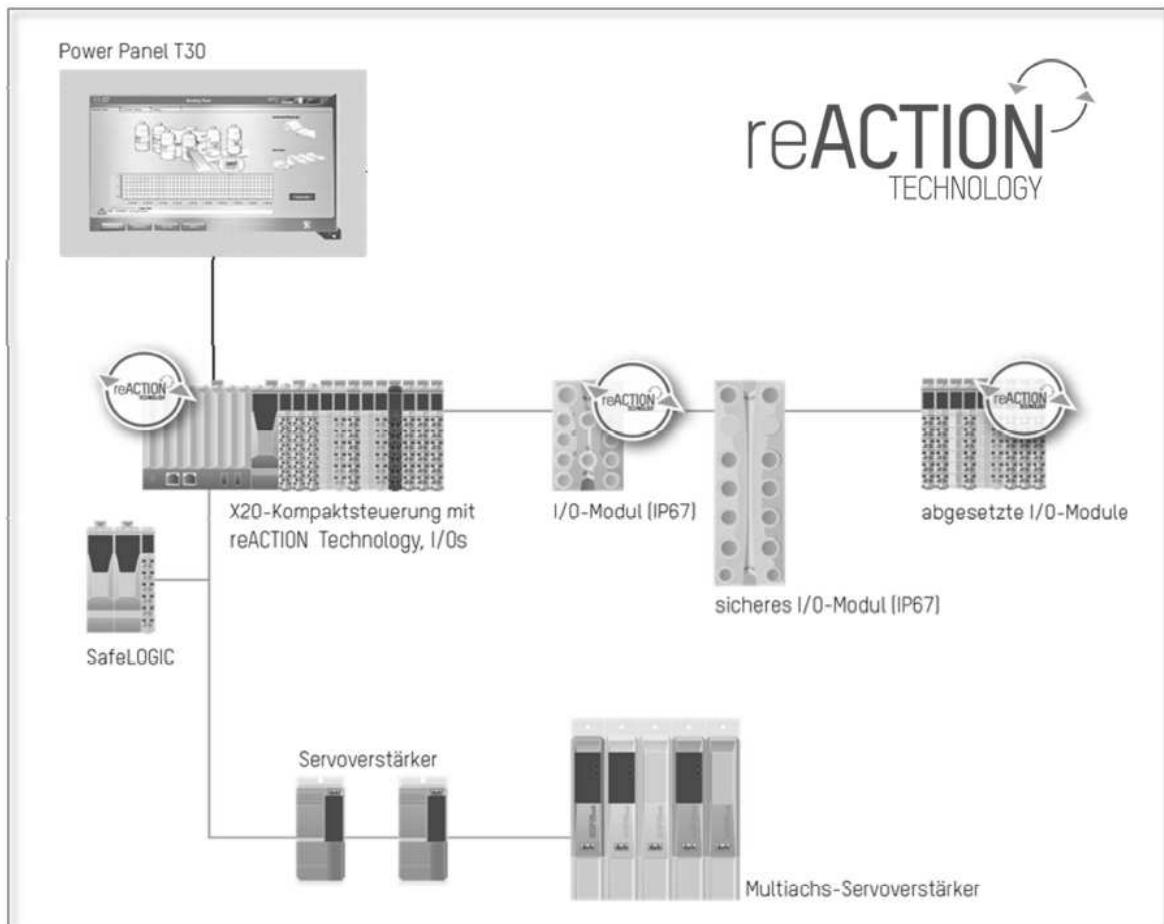


Abbildung 12: *reACTION*-Technologie - Beispielkonfiguration /B&R/

Darin wird eine Kompakt-Steuerung aus dem Low-Cost-Segment mit Antriebstechnik, integrierter Sicherheitstechnik und mehreren *reACTION*-Modulen sowie einem Bedienterminal betrieben.

## 5 Beispiele

Die seit 2014 verfügbare *reACTION*-Technologie hat sich bereits in zahlreichen Applikationen bewährt. Neben den eingangs erwähnten Anwendungen sollen zwei weitere Beispiele kurz vorgestellt werden.

Abbildung 13 zeigt eine Konfiguration aus dem Bereich Postprint. Vorgegeben ist die technologische Aufgabe der Fehlbogenkontrolle in einer Sammelheftmaschine. Dazu wird

von einer Kamera nach jedem Anleger ein Bildausschnitt des aufzulegenden Bogens erfasst und ein Soll-Ist-Vergleich durchgeführt. Ist das Ergebnis negativ, werden zur Vermeidung weiterer Makulatur alle nachfolgenden Anleger das betroffene Produkt nicht weiter bestücken.

Eine Anforderung bei dieser Funktion besteht darin, die Kamera hochpräzise an einer definierten Produktposition auszulösen. Durch die hohe Produktgeschwindigkeit ergibt sich eine geforderte Reaktionszeit von  $\leq 4\mu\text{s}$ . Die Aufgabe wird mit einem entsprechenden Initiator und *reACTION*-Technologie zufriedenstellend gelöst.

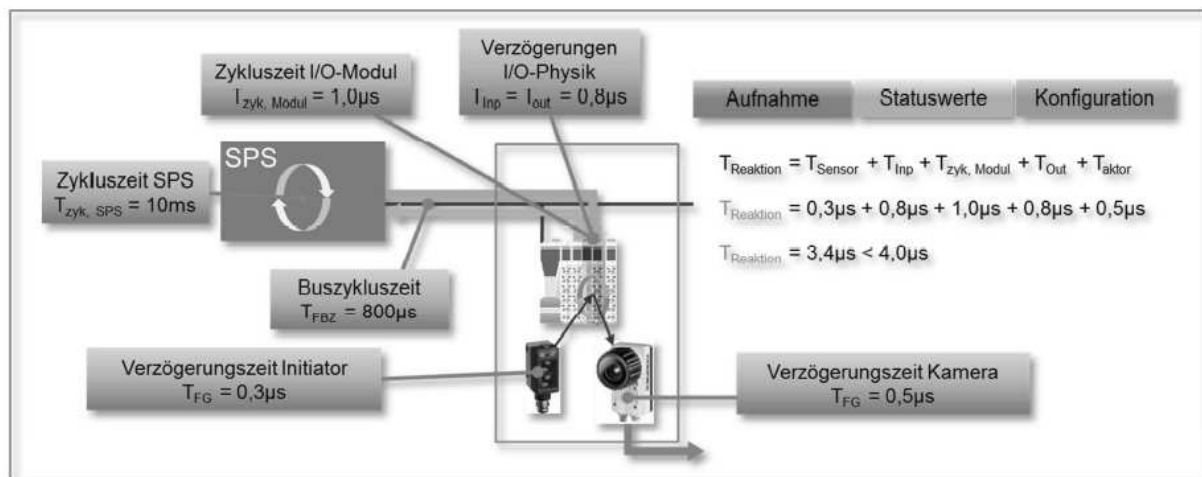


Abbildung 13: Auslösung einer Bildaufnahme bei Kantenerkennung in einem Sammelhefter  
Geforderte Reaktionszeit:  $T_{\text{Reaktion}} < 4,0\mu\text{s}$

In Abbildung 14 ist eine Konfiguration für ein dynamisch totzeitkompensiertes Nockenschaltwerkes dargestellt, wie es in Verpackungs- und in vielen weiteren Verarbeitungsmaschinen verwendet wird. Besonders bei sehr schnell laufenden Prozessen muss die Verzögerungs- bzw. Totzeit der Aktorik immer genauer berücksichtigt werden. In diesem Beispiel wird das Programm des Nockenschaltwerkes mit *reACTION*-Technologie in einer Plister-Verpackungsmaschine ausgeführt. Die Istpositionen erhält das Programm via Feldbus direkt vom entsprechenden Achscontroller. Damit entsteht ein Zeitverzug von nur einem Feldbus- und einem Servo-Zyklus.

Im beschriebenen Fall reicht dem Kunden die erzielte Genauigkeit aus. Mit einem zusätzlichen Positionsgeber am *reACTION*-Modul ließe sich die Reaktionszeit um mindestens  $250\mu\text{s}$  weiter reduzieren, da in diesem Fall Feldbus und Servoverstärker nicht mehr beteiligt sind. Abhängig von der Dynamik des Gebers ließen sich so Reaktionszeiten unter  $5\mu\text{s}$  erreichen.

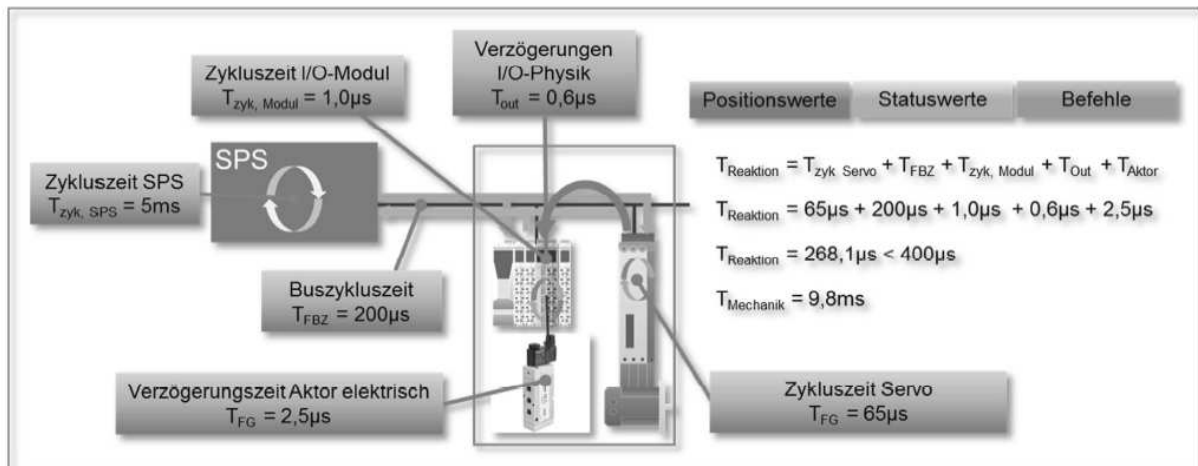


Abbildung 14: Dynamisch totzeitkompensiertes Nockenschaltwerk in einer Verpackungsmaschine, Geforderte Reaktionszeit:  $T_{Reaktion} < 300\mu\text{s}$

## 6 Resümee

An Beispielen wurde gezeigt, wie *reACTION*-Technologie neue technologische Funktionen ermöglicht bzw. aufwändige Spezialhardware durch Standard-E/A-Module ersetzen kann. Die freie Programmierung durch den Anwender und die Möglichkeit des Wechsels der *reACTION*-Programme zur Laufzeit schafft zusätzliche Alleinstellungsmerkmale. Damit kann auf unterschiedliche Prozesszustände mit verschiedenartigen Verfahren reagiert werden. Zum Beispiel lassen sich so Maschinen für die Bearbeitung geringster Losgrößen ertüchtigen.

Im Engineering Prozess wird der Anwender zusätzlich von der mapp-Technologie unterstützt. Diese gestattet es, ein Programm für einen kompletten technologischen Prozess in einem Baustein zu kapseln, je nach Anforderung in einem Projekt wiederzuverwenden und nach Bedarf zu aktivieren. Damit wird speziell im modularen Maschinenbau Engineeringaufwand erheblich reduziert und höchste Flexibilität erreicht.

### Literatur

/B&R/ B&R INDUSTRIE-ELEKTRONIK: Ultraschnelle Automatisierung, B&R, 2014